

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра транспорта и дорожного строительства

**И.Н. Кручинин**

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ**

Методические указания для практических занятий для студентов очной и  
заочной форм обучения  
направления 653600 – Транспортное строительство  
специальности 291000 – Автомобильные дороги и аэродромы  
и  
направления 550100 – Строительство  
бакалавр техники и технологии.  
Дисциплина – Механика грунтов

Екатеринбург 2005

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методической комиссией факультета ЛИФ Уральского государственного лесотехнического университета.

Протокол № 65 от 9 марта 2005 г.

Рецензент - кан. тех. наук, доцент кафедры транспорта и дорожного строительства Н.А. Гриневич

Редактор

Верстка

---

Подписано в печать.....	Формат 60x84 1/16	Поз. 1
Плоская печать	Печ.л. 0,93	Тираж 100 экз.
Заказ .....		Цена

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ

Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## **Введение**

Цель при изучении дисциплины «Механика грунтов» заключается в формировании у студентов знаний и умений в области строительства и эксплуатации транспортных сооружений. В задачи дисциплины входят: изучение принципов и методов расчета напряженно-деформированного состояния грунтового массива и оценка его прочности и устойчивости.

В результате изучения дисциплины студент должен уметь: формулировать и решать задачи связанные с прогнозом полных осадок транспортных сооружений, владеть методами оценки устойчивости склонов, откосов и массивных подпорных стенок.

При подготовке методических указаний были использованы материалы учебного издания: Бартоломей А.А. Механика грунтов. АСВ. Москва, 2004.

### **1. Механические свойства грунтов**

При анализе механических свойств грунтов испытания проводят на образцах грунта, тщательно отобранных в полевых условиях стараясь сохранить их природную структуру. Уплотнение грунта под действием внешнего давления рассматривают по трем основным схемам: сжатие без ограничения возможности бокового расширения (штамповые испытания); сжатие без возможности бокового расширения (компрессионные испытания в одометрах); трехосное сжатие при ограниченной возможности бокового расширения (испытания в приборе трехосного сжатия – стабилометре).

### **ЗАДАНИЕ №1**

При изысканиях мостового перехода, для расчета осадки насыпи, по данным отбора проб геологической колонки в лабораторию был доставлен суглинок аллювиальный характеризующийся следующими параметрами:

Таблица 1

Варианты	1	2	3	4	5
Наименование показателей	суглинок аллювиальный				
Удельный вес (плотность) $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	2,69	2,69	2,71	2,70	2,72
Объемная масса $\gamma_{об}$ , г/см <sup>3</sup>	2,03	2,03	2,00	2,01	2,01
Влажность грунта $W_o$ , %	28	25	27	25	24
Полная осадка $\Delta h$ по индикатору, мм					
При ступени нагрузки, МПа					
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11
0,2	0,18	0,18	0,18	0,16	0,14
0,3	0,20	0,21	0,20	0,19	0,17
0,4	0,22	0,23	0,21	0,21	0,19
0,5	0,23	0,24	0,23	0,23	0,21
0,6	0,24	0,25	0,24	0,24	0,23
0,7	0,25	0,26	0,25	0,25	0,24

Необходимо построить компрессионную кривую  $e_k=f(P)$ , определить коэффициент сжимаемости (уплотнения)  $m_0$  в диапазоне от 0,1 до 0,2 МПа и модуль общей деформации  $E_0$  если начальная высота образца  $h_0=30\text{мм}$ .

### РЕШЕНИЕ:

Образец суглинка аллювиального имеет следующими параметры: удельный вес (плотность)  $\gamma = 2,70 \text{ г/см}^3$ ; начальная влажность  $W_0 = 25\%$ ; объемная масса  $\gamma_{об}=2,01 \text{ г/см}^3$ ; высота образца  $h_0=30\text{мм}$ . Образец был помещен в компрессионный прибор одноосного сжатия – одометр ПЛЛ-9. По данным компрессионных испытаний были получены следующие значения полной осадки по индикатору  $\Delta h$  (табл.2, столбец 2) для каждой ступени нагрузки.

Коэффициент пористости  $e$  это отношение объема пор к объему частиц исследуемого образца. Различают начальный коэффициент пористости (до сжатия, в естественном состоянии) -  $e_0$  и конечный  $e_k$  после приложения нагрузки. При сжатии без возможности бокового расширения грунта можно воспользоваться зависимостью

$$e_k = e_0 - \varepsilon_0(1 + e_0),$$

где  $\varepsilon_0$  - относительная осадка,  $\varepsilon_0 = \Delta h/h_0$

Таблица 2

Степень нагрузки $P$ , МПа	Полная осадка по индикатору $\Delta h$ , мм	Относительная осадка $\varepsilon_0 = \Delta h/h_0$	Коэффициент пористости $e_k$
1	2	3	4
0	0,00	0,0000	0,679
0,1	0,12	0,0040	0,672
0,2	0,16	0,0053	0,670
0,3	0,19	0,0063	0,668
0,4	0,21	0,0070	0,667
0,5	0,23	0,0077	0,666
0,6	0,24	0,0080	0,666
0,7	0,25	0,0083	0,665

Начальный коэффициент пористости определится как

$$e_0 = \frac{\gamma - \gamma_{ск}}{\gamma_{ск}} = \frac{2,7 - 1,608}{1,608} = 0,679,$$

где  $\gamma_{ск}$  - объемная масса скелета грунта,  $г/см^3$ ,

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_{об}}{(1 + W_0)} = \frac{2,01}{1 + 0,25} = 1,608 \text{ } г/см^3,$$

$W_0$  - начальная влажность.

По данным таблицы 2 строим компрессионную кривую  $e_k = f(P)$ , изображенную на рис. 2.

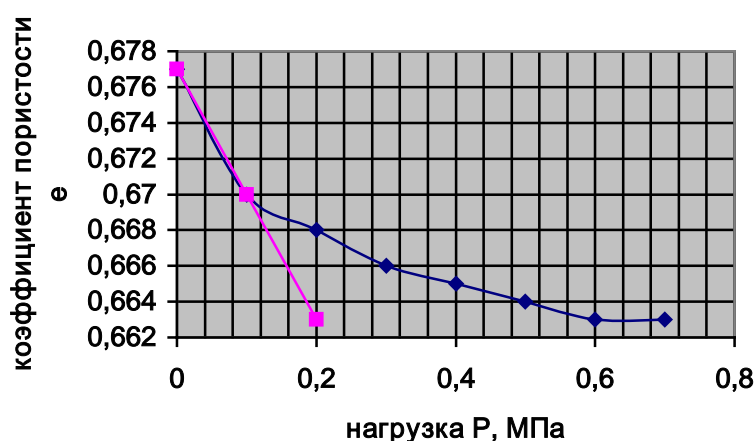


Рис.1. Компрессионная кривая

В результате отсыпки насыпи нагрузка на основание увеличилась с  $P_1=0$  МПа до  $P_2=0,1$  МПа. Следовательно для этого диапазона давлений коэффициент уплотнения определится как

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = \frac{0.679 - 0.672}{0.1 - 0} = 0.07 \text{ МПа}^{-1}$$

Если коэффициент уплотнения находится в диапазоне:

$m_0 < 0,0005$  – то грунт малосжимаемый,

при  $0,0005 < m_0 < 0,005$  – грунт среднесжимаемый,

при  $m_0 > 0,005$  – грунт сильносжимаемый.

В нашем случае грунт сильносжимаемый.

Модуль общей деформации определится по зависимости

$$E_0 = \frac{1 + e_0}{m_0} = \frac{1 + 0.679}{0.07} = 23.99 \text{ МПа}$$

Но это компрессионный модуль и он несколько отличается от реального полученного в естественных условиях.

## 2. Определение сжимающих напряжений от внешнего воздействия

Для расчета грунтовых оснований необходимо знать, как распределяются напряжения в массиве грунта. В механике грунтов такую задачу можно решить для линейно-деформируемого однородного изотропного полупространства, ограниченного сверху горизонтальной плоскостью, к которой приложена внешняя нагрузка. Для сосредоточенной силы напряжение в любой точке **М** полупространства (рис.2) определится как

$$\sigma_z = k \cdot \frac{P}{z^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_z$  – сжимающее напряжение, МПа;  $k$  – коэффициент, который учитывает положение рассматриваемой точки,

$$k = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}}; \quad (2)$$

$P$  – сосредоточенная сила;  $z$  – глубина рассматриваемой точки;  $r$  – расстояние от оси приложения сосредоточенной силы.

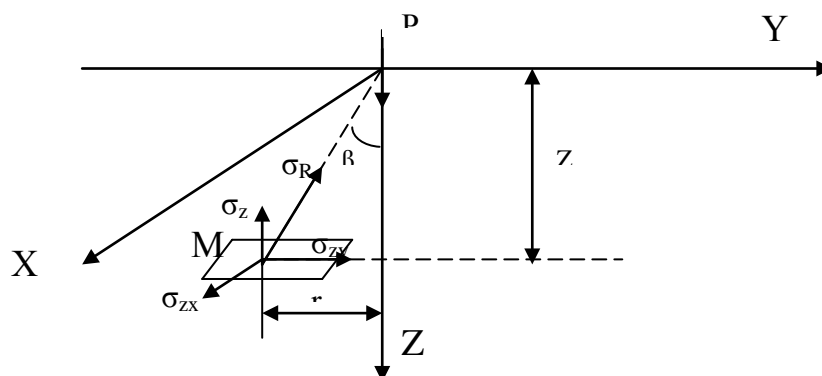


Рис.2. Схема действия на точку М сосредоточенной силы Р:  $\beta$  – угол видимости;  $\sigma_R$  – результирующее напряжение, которое раскладывается на  $\sigma_z$ ,  $\sigma_{zx}$ ,  $\sigma_{zy}$ ;  $z$  – глубина

При действии нескольких сосредоточенных сил сжимающее напряжение определяется суммированием

$$\sigma_z = \sum \frac{k_i \cdot P_i}{z^2}$$

## ЗАДАНИЕ №2

Найти вертикальное сжимающее напряжение ( $\sigma_z$ ) для точки А расположенной согласно своего варианта. Построить эпюру сжимающих напряжений на глубине расположения точки и эпюру по оси действия сосредоточенной силы

Таблица 2

Варианты	1	2	3	4	5
Величина сосредоточенной силы Р, МН	0,69	0,6	1,1	1,7	0,7
Глубина расположения точки z, м	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0
Расстояние от линии действия силы r, м	28	25	27	25	24

## РЕШЕНИЕ:

Найдем вертикальное сжимающее напряжение ( $\sigma_z$ ) для точки А, расположенной на глубине 2м и в стороне на 1м от линии действия силы  $P = 0,6 \text{ МН}$ .

2.1. Для точки А имеем:  $z = 2\text{ м}$ ;  $r = 1\text{ м}$ ; соотношение  $r/z = 0,5$ .

По приложению 1 или по формуле 2 определяем  $k = 0,2733$ . По формуле 1

$$\sigma_z = 0,2733 \cdot \frac{0,6}{4} = 0,041 \text{ МПа}$$

2.2. Задаваясь значением  $r$  через  $0,25\text{ м}$  построим эпюру сжимающих напряжений на глубине  $z = 2\text{ м}$ . Значения сводим в табл.3

Таблица 3

$r, \text{ м}$	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
$\sigma_z, \text{ МПа}$	0.072	0.069	0.062	0.051	0.041	0.031
$r, \text{ м}$	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
$\sigma_z, \text{ МПа}$	0.023	0.017	0.013	0.00915	0.006	0.004

2.4. Задаваясь значением  $z$  через  $0,25\text{ м}$  построим эпюру сжимающих напряжений по глубине вдоль оси действия внешней силы. Значения сводим в табл.4.

Таблица 4

$Z, \text{ м}$	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
$\sigma_z, \text{ МПа}$	4,584	1,146	0,509	0,286	0,183	0,127	0,093	0,071
$z, \text{ м}$	2,25	2,50	2,75	3,0	3,25	3,50	3,75	4,0
$\sigma_z, \text{ МПа}$	0,056	0,045	0,037	0,03	0,027	0,023	0,020	0,179

### ЗАДАНИЕ №3

Определить сжимающие напряжения, лежащие на оси фундамента согласно своего варианта. Построить эпюру сжимающих напряжений.

Таблица 5

Варианты	1	2	3	4	5
Величина равномерно распределенной нагрузки $p, \text{ МПа}$	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4
Глубина от поверхности земли $z, \text{ м}$	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0
Размеры фундамента, м	2x2	3x3	4x4	2x2	3x3

### РЕШЕНИЕ:

Пусть на грунт действует равномерно распределенная нагрузка от фундамента. Определить сжимающие напряжения, лежащие на оси фундамента на глубине  $2\text{ м}$  от поверхности. Интенсивность нагрузки  $p=0,3 \text{ МПа}$ .



3.1. Разбиваем фундамент на элементарные участки. Пусть это будет 4 квадрата –  $1 \times 1$  м каждый (см. рис. 3).

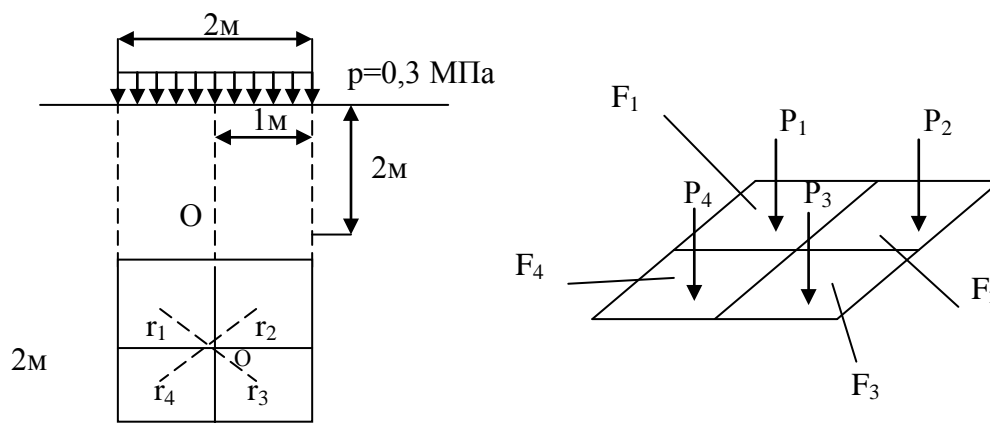


Рис.3. Схема действия равномерной нагрузки

Принимаем, что в центре каждого элемента сосредоточена сила  $P_i = p \cdot F_i$ , где  $F_i$  – площадь элемента. Т.к. сила сосредоточена в центре, то ищем расстояние  $r_i$  по горизонтали от этих точек до вертикальной оси, проходящей через точку **М**

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.71 \text{ м}$$

По приложению 1 находим  $r_{1-4}/z = 0.71/2 = 0.355$ . Интерполируя значения таблицы находим  $k_{1-4} = 0.3549$ , тогда  $P_i = p \cdot F_{1-4} = 0.3 \cdot 1 = 0.3 \text{ МН}$ . Сжимающие напряжения

$$\sigma_z = 4 \cdot k_{1-4} \cdot \frac{P_{1-4}}{z^2} = 4 \cdot 0.3549 \cdot \frac{0.3}{4} = 0.107 \text{ МПа}.$$

Точные решения могут быть получены интегрированием по всей площади загрузки. В настоящее время такие решения получены только для прямоугольных фундаментов.

### 3. Предельное напряженное состояние грунта

Под предельно напряженным состоянием грунта понимают случай неустойчивого состояния грунтового массива от внешней нагрузки, при ко-

тором малейшее увеличение внешнего воздействия вызывает нарушение равновесия.

Условие предельного равновесия:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} = \sin \varphi \text{ - для песчаных грунтов, } \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} = \sin \varphi \text{ - для связных,}$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – главные напряжения, полученные при трехосном сжатии на стабилометре;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $c$  – связность грунта.

Система дифференциальных уравнений равновесия грунтов в предельно-напряженном состоянии имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = \gamma \end{cases}$$

Решением системы этих уравнений является сеть линий скольжения в грунтовом массиве рис.4.

Для  $Z_{\max}=0$  по формуле Н.П. Пузыревского начальное значение критической нагрузки (начальное возникновение в грунте зон сдвига, окончание фазы уплотнения).

$$P_{кр}^{нач} = \frac{\pi(\gamma h + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi)}{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} + \gamma h \quad (3)$$

где  $\gamma$  – плотность грунта,  $\kappa\text{Н}/\text{м}^3$ ;  $\varphi$  – угол внутреннего трения,  $\text{рад}$ .

Для определения предельных нагрузок (исчерпывание несущей способности грунта, переход в неустойчивое состояние) для сыпучих и связных грунтов с учетом бокового пригруза от собственного веса грунта можно воспользоваться формулой В.В.Соколовского

$$P_{кр}^{пред} = N_\gamma \cdot \gamma \cdot y + N_q \cdot q + N_c \cdot c \quad (4)$$

где  $N_\gamma, N_q, N_c$  – коэффициенты несущей способности грунта (приложение 2);  $q$  – нагрузка от собственного веса грунта,  $q = \gamma h$ .

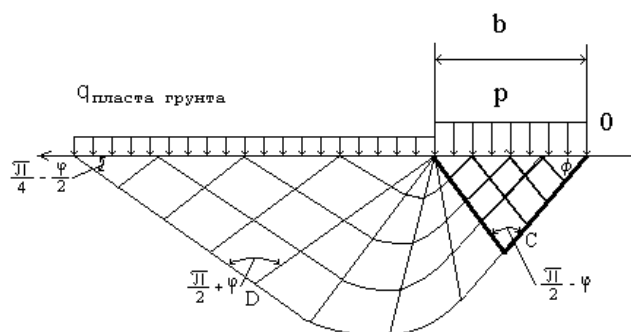


Рис.4. Сеть линий скольжения в грунтовом массиве с учетом собственного веса грунта.

Для оснований массивных фундаментов предельную нагрузку следует определять с учетом ядра уплотнения по формуле К. Терцаги в случае полосовой нагрузки

$$R_{\text{полосовой нагрузки}}^{\text{пред}} = N_{\gamma} \cdot \gamma \cdot b_1 + N_{qn} \cdot q + N_{cn} \cdot c \quad (5)$$

где  $N_{\gamma}$ ,  $N_{qn}$ ,  $N_{cn}$  – коэффициенты несущей способности грунта (приложение 3);  $b_1$  – полуширина фундамента,  $b_1 = b/2$ .

#### ЗАДАНИЕ №4

Найти значение начальной критической нагрузки (начало возникновения зон сдвига) на грунт под ленточным фундаментом для своего варианта (табл.6)

Таблица 6

Варианты	1	2	3	4	5
Ширина фундамента $b$ , м	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0
Величина заглубления фундамента $h$ , м	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5
плотность грунта $\gamma$ , $\text{кН/м}^3$	18	19	19	17	18
угол внутреннего трения $\varphi$ , град	23	25	24	27	25
Связность $C$ , $\text{кПа}$	21	20	20	17	19

**РЕШЕНИЕ:** 4.1. Пусть ленточный фундамент имеет следующие параметры:  $h=1,5\text{м}$ ,  $b=3,0\text{м}$ . Грунт суглинок  $\varphi=25^\circ$ ,  $c=20\text{ кПа}$ ,  $\gamma=19\text{ кН/м}^3=1936\text{ кг/м}^3$ . тогда по формуле 3:

$$P_{кр}^{нач} = \frac{3,14(19000 \cdot 1,5 + 20000 \cdot 2,145)}{2,145 + 0,436 - 1,571} + 19000 \cdot 1,5 = 0,25 \text{ МПа}$$

Это безопасное давление для грунта до этого значения. Грунт находится в фазе уплотнения.

#### 4.2. Предельная критическая нагрузка.

Пусть ленточный фундамент имеет те же параметры. Для оценки нагрузки необходимо рассмотреть критические точки. Ими являются краевые участки фундамента:  $y=0$  и  $y=b$ , для них по формуле 4

$$P_0^{пред} = N_q \cdot q + N_c \cdot c, \quad q = \gamma \cdot h, \quad P_b^{пред} = N_\gamma \cdot \gamma \cdot b + P_0^{пред}$$

По прил. 2 (для  $\delta=0$ ;  $\varphi=25^\circ$ )  $N_q=10,70$ ;  $N_c=20,70$ ;  $N_\gamma=6,92$

$$P_0^{пред} = 10,70 \cdot 19 \cdot 10^3 \cdot 1,5 + 20,70 \cdot 20 \cdot 10^3 = 0,72 \text{ МПа}$$

$$P_b^{пред} = 6,92 \cdot 19 \cdot 10^3 \cdot 3 + 0,72 = 1,11 \text{ МПа}$$

$$P_{кр}^{пред} = \frac{1}{2}(P_0^{пред} + P_b^{пред}) = 0,92 \text{ МПа}$$

#### 4.3. Учет влияния жесткого ядра уплотнения.

По приложению 3 при  $\varphi=25^\circ$  методом интерполяции находим  $N_{\gamma п}=11,7$ ;  $N_{qp}=11,0$ ;  $N_{сп}=21,5$ , тогда по формуле 5

$$P_n^{пред} = 11,7 \cdot 19 \cdot 10^3 \cdot 1,5 + 11,0 \cdot 28,5 \cdot 10^3 + 21,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1,08 \text{ МПа}$$

### 4. Устойчивость откосов и склонов

При разработке котлованов, вертикальной планировке площадок с уступами, устройстве выемок и насыпей, возведении сооружений на склонах и в ряде других случаев приходится оценивать устойчивость массивов грунтов в откосах. Устройство очень крутых откосов может вызвать нарушение его устойчивости и привести к авариям, пологие откосы значительно удорожают строительство, поэтому задачей проектировщика является отыскание оптимальной крутизны откоса.

В практике проектирования наиболее часто прибегают к расчету устойчивости склонов и откосов по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения. В основу расчета положено соотношение удерживающих и вращательных моментов.

За коэффициент устойчивости откоса принимают отношение момента сил удерживающих к моменту сил сдвигающих

$$k_{запаса} = \eta = \frac{M_{удерж}}{M_{сдвиг}} = \frac{(\sum N_i \operatorname{tg} \varphi + cL) \cdot R}{\sum T_i \cdot R},$$

где  $N_i$  и  $T_i$  – соответственно нормальная и касательная составляющая силы веса отдельного блока грунта;  $L$  – длина дуги скольжения.

Так как поверхностей скольжения может быть несколько, то выбирают наиболее опасную дугу скольжения соответствующую предельному равновесию грунта. А из всех возможных центров вращения выбираем центра вращения наиболее опасной кривой скольжения по диаграмме Н.Янбу.

Для упрощенного расчета коэффициента устойчивости можно воспользоваться методом предложенным М.Н. Гольдштейном и Г.И. Тер-Степаняном:

$$\eta = fA + \frac{cB}{\gamma h}, \quad (6)$$

где  $f = \operatorname{tg} \varphi$ ;  $A$  и  $B$  – коэффициенты, табулированные в зависимости от соотношения заложения откоса и его высоты, прил. 4.

### ЗАДАНИЕ №5

Найти значение предельной высоты откоса для своего варианта.

Таблица 7

Варианты	1	2	3	4	5
заложение откоса	1:2	1:1,5	1:2	1:1,5	1:2
Коэффициент устойчивости откоса	1,5	2,0	2,0	1,5	1,5
плотность грунта $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	18	19	19	17	18
угол внутреннего трения $\varphi$ , град	23	25	24	27	25
Связность $C$ , кПа	11	12	10	17	16

## РЕШЕНИЕ:

Найдем предельную высоту откоса с заложением 1:2,  $\eta=2$ ;  $\varphi=22^\circ$ ;  
 $c=12\text{кПа}=12\text{ кН/м}^2$ ;  $\gamma=18\text{кН/м}^3$ .

По таблице приложения 4 определим, что  $A=3,23$ ;  $B=6,7$ . Из формулы 6

$$h = \frac{c \cdot B}{\gamma(\eta - f \cdot A)} = \frac{12 \cdot 10^3 \cdot 6,7}{18 \cdot 10^3 (2 - 0,404 \cdot 3,23)} = 6,4\text{ м}.$$

## 5. Прогноз осадок основания

Осадка основания это вертикальные деформации за счет уплотнения грунта. Для оценки работы сооружения особое значение имеет фаза уплотнения, при этом необходимо, чтобы расчетная осадка была меньше предельных значений, регламентируемых соответствующими СНиПами.

Расчет деформаций оснований осуществляется следующими методами: метод общих упругих деформаций; метод определения осадки при невозможности бокового расширения; метод послойного суммирования; метод эквивалентного слоя, для многослойных оснований.

Эквивалентным слоем грунта  $h_s$  называют слой, осадка которого  $S_0$  при сплошной нагрузке равна осадке  $S_n$  на мощном массиве при местной нагрузке  $S_0 = S_n$ .

$$h_s = \frac{(1-\nu_0)^2}{1-2\nu_0} \cdot \omega \cdot b, \text{ если обозначить через } A = \frac{(1-\nu_0)^2}{1-2\nu_0}, \text{ то}$$

$$h_s = A \cdot \omega \cdot b, \quad (7)$$

где  $b$  – ширина фундамента;  $\nu_0$  – коэффициент бокового расширения;  $\omega$  – коэффициент формы и жесткости фундамента.

В этом случае осадка фундамента равна

$$S = h_s \cdot m_v \cdot P \quad (8)$$

где  $m_v$  – коэффициент относительной сжимаемости.

Параметры  $A \cdot \omega$  находят по таблицам приложения 5.

### ЗАДАНИЕ №6

Определить конечную величину стабилизированной осадки ленточного фундамента для своего варианта (табл.8).

Геологическое строение:

I – ПРС:  $h_1 = 0,4\text{м}$ ;  $\gamma_n = 17 \text{ кН/м}^3$ .

II – песок средней крупности:  $h_2 = 2,5\text{м}$ ;  $\gamma_n = 19,1 \text{ кН/м}^3$ ;  $\gamma_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$ ;  $\omega = 19\%$ ;  $e = 0,65$ ;  $\varphi = 30^\circ$ ;  $c = 2 \text{ кПа}$ ;  $E = 25 \text{ МПа}$ .

III – песок пылеватый влажный:  $h_3 = 2,6\text{м}$ ;  $\gamma_n = 18,4 \text{ кН/м}^3$ ;  $\gamma_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$ ;  $\omega = 18\%$ ;  $e = 0,7$ ;  $\varphi = 24^\circ$ ;  $c = 4 \text{ кПа}$ ;  $E = 14,5 \text{ МПа}$ .

IV – супесь твердая:  $h_4 = 4,8\text{м}$ ;  $\gamma_n = 21 \text{ кН/м}^3$ ;  $\gamma_s = 27,5 \text{ кН/м}^3$ ;  $\omega = 20\%$ ;  $e = 0,57$ ;  $c = 14 \text{ кПа}$ ;  $E = 22 \text{ МПа}$ ;  $УГВ = 5,5\text{м}$ .

V – глина твердая:  $h_5 = 2,6\text{м}$ ;  $\gamma_n = 20 \text{ кН/м}^3$ ;  $\gamma_s = 27,7 \text{ кН/м}^3$ ;  $\omega = 20\%$ ;  $e = 0,55$ ;  $\varphi = 20^\circ$ ;  $c = 65 \text{ кПа}$ ;  $E = 28,2 \text{ МПа}$ .

Таблица 8

Варианты	1	2	3	4	5
Ширина подошвы $b$ , м	1,4	2,0	1,5	2,0	1,4
глубина заложения $d$ , м	1,5	1,7	2,0	1,5	1,4
расчетная вертикальная нагрузка на 1м фундамента $N_{оп}$ , кН/м	360	370	350	300	370
нагрузка от 1 м фундамента и грунта на его уступах $N_{ф}$ , кН/м	36,0	36,1	37,0	36,0	35,5
расчетное сопротивление грунта основания $R$ , кПа	320	350	330	300	315

### РЕШЕНИЕ:

Определить конечную величину стабилизированной осадки ленточного фундамента методом эквивалентного слоя, рис.5. Ширина подошвы  $b = 1,4\text{м}$ , глубина заложения  $d = 1,7\text{м}$ , расчетная вертикальная нагрузка на 1м.

фундамента  $N_{оп} = 370 \text{ кН/м}$ , нагрузка от 1 м фундамента и грунта на его уступах  $N_{ф} = 36 \text{ кН/м}$ , расчетное сопротивление грунта основания  $R = 338 \text{ кПа}$ . Геологическое строение приведено выше.

6.1. Фактическое давление под подошвой фундамента

$$P_n = \frac{370 + 36}{1 \cdot 1,4} = 290 \text{ кПа} < R = 338 \text{ кПа}$$

6.2. Бытовое давление на глубине заложения

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i = 17 \cdot 0,4 + 19,1 \cdot 1,3 = 32 \text{ кПа}$$

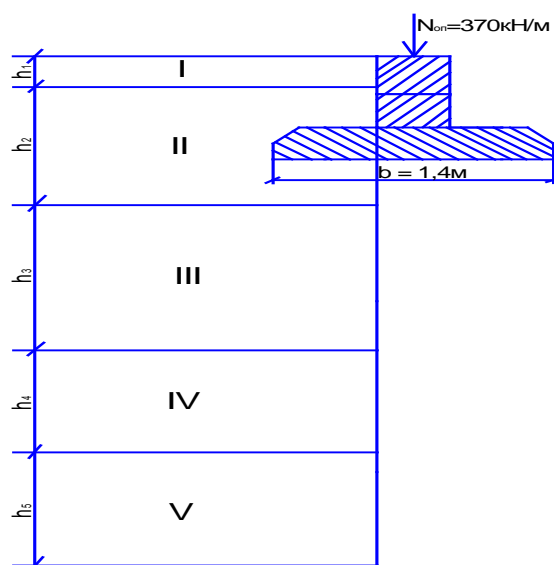


Рис.5. Схема к расчету осадки фундамента методом эквивалентного слоя.

6.3. Дополнительное давление на основание под подошвой фундамента

$$P_0 = P_n - \sigma_{\Sigma} = 290 - 32 = 258 \text{ кПа}$$

6.4. Т.к. в основании преобладают пески, то для них  $\nu_0 = 0,2$  (коэффициент Пуассона или бокового расширения). По таблице приложения 5 находим  $A \cdot \omega = 2,4$ . По формуле 7

$$h_y = 2,4 \cdot 1,4 = 3,36 \text{ м}.$$

6.5. Мощность сжимаемой толщи грунта составляет

$$H = 2 \cdot h_y = 2 \cdot 3,36 = 6,72 \text{ м}.$$



При глубине заложения фундамента 1,7 м в эту толщу входят грунты II, III, IV слоев.  $E_{II} = 25 \text{ МПа}$ ;  $E_{III} = 14,5 \text{ МПа}$ ;  $E_{IV} = 22 \text{ МПа}$ .

6.6. Коэффициент относительный сжимаемости:  $m_v = \frac{\beta}{E}$ ,

где  $\beta = 1 - \frac{2 \cdot \nu_0^2}{1 - \nu_0}$  - коэффициент.

II слой песок:  $\nu_0 = 0,2$ ;  $\beta = 1 - \frac{2 \cdot 0,2^2}{1 - 0,2} = 0,90$ ;  $m_v = \frac{0,9}{25} = 0,036 \text{ МПа}^{-1}$ .

III слой песок пылеватый:  $\nu_0 = 0,25$ ;  $\beta = 0,83$ ;  $m_v = \frac{0,83}{14,5} = 0,057 \text{ МПа}^{-1}$ .

IV слой супесь:  $\nu_0 = 0,27$ ;  $\beta = 0,80$ ;  $m_v = \frac{0,80}{22} = 0,036 \text{ МПа}^{-1}$ .

По профилю геологического строения грунтов определяем расстояние  $z_i$  от середины каждого слоя до глубины  $2h$ ,  $z_1 = 6,72 - 0,6 = 6,12 \text{ м}$ ;  $z_2 = 6,72 - 1,2 - 1,3 = 4,22 \text{ м}$ ;  $z_3 = 6,72 - 1,2 - 2,6 - 1,46 = 1,46 \text{ м}$ . Средний относительный коэффициент сжимаемости на всю активную зону сжатия:

$$m_{vm} = \sum_{i=1}^n h_i \cdot m_{vi} \cdot z_i / 2h^2$$

$$m_{vm} = \frac{0,036 \cdot 1,2 \cdot 6,12 + 0,057 \cdot 2,6 \cdot 4,22 + 0,036 \cdot 2,92 \cdot 1,46}{2 \cdot 3,36^2} = 0,046 \text{ МПа}^{-1}$$

Тогда полная стабилизированная осадка фундамента

$$S = 3,36 \cdot 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot 258 = 0,04 \text{ м}$$

Проверим условие:  $S = 4 \text{ см} < S_{\text{п}} = 10 \text{ см}$ . Где  $S_{\text{п}}$  предельная осадка для безкаркасного здания с несущими стенами из кирпичной кладки. Условие выполняется.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значения коэффициента  $K$  для вычисления сжимающих напряжений от действия сосредоточенной силы зависимости от отношения  $r/z$

$r/z$	$K$	$r/z$	$K$	$r/z$	$K$	$r/z$	$K$
0,00	0,4775	0,50	0,2733	1,00	0,0844	1,50	0,0251
0,01	0,4773	0,51	0,2679	1,01	0,0823	1,51	0,0245
0,02	0,4770	0,52	0,2625	1,02	0,0803	1,52	0,0240
0,03	0,4764	0,53	0,2571	1,03	0,0783	1,53	0,0234
0,04	0,4756	0,54	0,2518	1,04	0,0764	1,54	0,0229
0,05	0,4745	0,55	0,2466	1,05	0,0744	1,55	0,0224
0,06	0,4732	0,56	0,2414	1,06	0,0727	1,56	0,0219
0,07	0,4717	0,57	0,2363	1,07	0,0709	1,57	0,0214
0,08	0,4699	0,58	0,2313	1,08	0,0691	1,58	0,0209
0,09	0,4679	0,59	0,2263	1,09	0,0674	1,59	0,0204
0,10	0,4657	0,60	0,2214	1,10	0,0658	1,60	0,0200
0,11	0,4633	0,61	0,2165	1,11	0,0641	1,61	0,0195
0,12	0,4607	0,62	0,2117	1,12	0,0626	1,62	0,0191
0,13	0,4579	0,63	0,2070	1,13	0,0610	1,63	0,0187
0,14	0,4548	0,64	0,2024	1,14	0,0595	1,64	0,0183
0,15	0,4516	0,65	0,1974	1,15	0,0581	1,65	0,0179
0,16	0,4482	0,66	0,1934	1,16	0,0567	1,66	0,0175
0,17	0,4446	0,67	0,1889	1,17	0,0553	1,67	0,0171
0,18	0,4409	0,68	0,1846	1,18	0,0539	1,68	0,0167
0,19	0,4370	0,69	0,1804	1,19	0,0526	1,69	0,0163
0,20	0,4329	0,70	0,1762	1,20	0,0513	1,70	0,0160
0,21	0,4286	0,71	0,1721	1,21	0,0501	1,72	0,0153
0,22	0,4242	0,72	0,1681	1,22	0,0489	1,74	0,0147
0,23	0,4197	0,73	0,1641	1,23	0,0477	1,76	0,0141
0,24	0,4151	0,74	0,1613	1,24	0,0466	1,78	0,0135
0,25	0,4103	0,75	0,1565	1,25	0,0454	1,80	0,0129
0,26	0,4054	0,76	0,1527	1,26	0,0443	1,82	0,0124
0,27	0,4004	0,77	0,1491	1,27	0,0433	1,84	0,0119
0,28	0,3954	0,78	0,1455	1,28	0,0422	1,86	0,0114
0,29	0,3902	0,79	0,1420	1,29	0,0412	1,88	0,0109
0,30	0,3849	0,80	0,1386	1,30	0,0402	1,90	0,0105
0,31	0,3796	0,81	0,1353	1,31	0,0393	1,92	0,0101
0,32	0,3742	0,82	0,1320	1,32	0,0384	1,94	0,0097
0,33	0,3687	0,83	0,1288	1,33	0,0374	1,96	0,0093
0,34	0,3632	0,84	0,1257	1,34	0,0365	1,98	0,0089
0,35	0,3577	0,85	0,1226	1,35	0,0357	2,00	0,0085
0,36	0,3521	0,86	0,1196	1,36	0,0348	2,10	0,0070
0,37	0,3465	0,87	0,1166	1,37	0,0340	2,20	0,0058
0,38	0,3408	0,88	0,1138	1,38	0,0332	2,30	0,0048
0,39	0,3351	0,89	0,1110	1,39	0,0324	2,40	0,0040
0,40	0,3294	0,90	0,1083	1,40	0,0317	2,50	0,0034
0,41	0,3238	0,91	0,1057	1,41	0,0309	2,60	0,0029
0,42	0,3181	0,92	0,1031	1,42	0,0302	2,70	0,0024
0,43	0,3124	0,93	0,1005	1,43	0,0295	2,80	0,0021
0,44	0,3068	0,94	0,0981	1,44	0,0288	2,90	0,0017
0,45	0,3011	0,95	0,0956	1,45	0,0282	3,00	0,0015
0,46	0,2955	0,96	0,0933	1,46	0,0275	3,50	0,0007
0,47	0,2899	0,97	0,0910	1,47	0,0269	4,00	0,0004
0,48	0,2843	0,98	0,0887	1,48	0,0263	4,50	0,0002
0,49	0,2788	0,99	0,0865	1,49	0,0257	5,00	0,0001

# ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## **Значения коэффициентов несущей способности для случая действия наклонной полосообразной нагрузки**

δ, град	Коэф- фици- енты	φ, град								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	$N_Y$	0,00	0,17	0,56	1,40	3,16	6,92	15,32	35,1-9	86,46
	$N_q$	1,00	1,57	2,47	3,94	6,40	10,70	18,40	33,30	64,20
	$N_C$	5,14	6,49	8,34	11,00	14,90	20,70	30,20	46,20	75,30
5	$N_Y$	-	0,09	0,38	0,99	2,31	5,02	11,10	24,38	61,38
	$N_q$	-	1,24	2,16	3,44	5,56	9,17	15,60	27,90	52,70
	$N_C$	-	2,72	6,56	9,12	12,50	17,50	25,40	38,40	61,60
10	$N_Y$	-	-	0,17	0,62	1,51	3,42	7,64	17,40	41,78
	$N_q$	-	-	1,50	2,84	4,65	7,65	12,90	22,80	42,40
	$N_C$	-	-	2,84	6,88	10,00	14,30	20,60	31,10	49,30
15	$N_Y$	-	-	-	0,25	0,89	2,15	4,93	11,34	27,61
	$N_q$	-	-	-	1,79	3,64	6,13	10,40	18,10	33,30
	$N_C$	-	-	-	2,94	7,27	11,00	16,20	24,50	38,50
20	$N_Y$	-	-	-	-	0,32	1,19	2,92	6,91	16,41
	$N_q$	-	-	-	-	2,09	4,58	7,97	13,90	25,40
	$N_C$	-	-	-	-	3,00	7,68	12,10	18,50	29,10
25	$N_Y$	-	-	-	-	-	0,38	1,50	3,85	9,58
	$N_q$	-	-	-	-	-	2,41	5,67	10,20	18,70
	$N_C$	-	-	-	-	-	3,03	8,09	13,20	21,10
30	$N_Y$	-	-	-	-	-	-	0,43	1,84	4,96
	$N_q$	-	-	-	-	-	-	2,75	6,94	13,10
	$N_C$	-	-	-	-	-	-	3,02	8,49	14,40
35	$N_Y$	-	-	-	-	-	-	-	0,47	2,21
	$N_q$	-	-	-	-	-	-	-	3,03	8,43
	$N_C$	-	-	-	-	-	-	-	2,97	8,86
40	$N_Y$	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49
	$N_q$	-	-	-	-	-	-	-	-	3,42
	$N_C$	-	-	-	-	-	-	-	-	2,88

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Значения коэффициентов несущей способности с учётом собственного веса грунта и уплотнённого ядра для полосообразной нагрузки

Коэффици- енты	φ, град												
	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$N_{уп}$	3,4	4,6	6,0	7,6	9,8	13,6	16,0	21,6	28,6	39,6	52,4	74,8	100,2
$N_{qp}$	4,4	5,3	6,5	8,0	9,8	12,3	15,0	19,3	24,7	32,6	41,5	54,8	72,0
$N_{сн}$	11,7	13,2	15,1	17,2	19,8	23,2	25,8	31,5	38,0	47,0	55,7	70,0	84,7

### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

#### Значения коэффициентов А и Б для приближённого расчёта устойчивости откосов

Заложение от- коса 1 : m	Поверхность скольжения проходит через нижнюю кромку откоса		Поверхность скольжения проходит через основание и имеет горизонтальную касательную на глубине							
			$\xi = \frac{1}{4} h$		$\xi = \frac{1}{2} h$		$\xi = h$		$\xi = 1 \frac{1}{2} h$	
	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В
1:1,00	2,34	5,79	2,56	6,10	3,17	5,92	4,32	5,80	5,78	5,75
1:1,25	2,64	6,05	2,66	6,32	3,24	6,62	4,43	5,86	5,86	5,80
1:1,50	2,64	6,50	2,80	6,53	3,32	6,13	5,54	5,93	5,94	5,85
1:1,75	2,87	6,58	2,93	6,72	3,41	6,26	4,66	6,00	6,02	5,90
1:2,00	3,23	6,70	3,10	6,87	3,53	6,40	4,78	6,08	6,10	5,95
1:2,25	3,19	7,27	3,26	7,23	3,66	6,56	4,90	6,16	6,18	5,98
1:2,50	3,53	7,30	3,46	7,62	3,82	6,74	5,08	6,26	6,26	6,02
1:2,75	3,59	8,02	3,68	8,00	4,02	6,95	5,17	6,36	6,34	6,05
1:3,00	3,59	8,91	3,93	8,40	4,24	7,20	5,31	6,47	6,44	6,09

# ПРИЛОЖЕНИЕ 5

## Значения коэффициентов эквивалентного слоя $A\omega$

Соотно- шение $\alpha = l/b$	Гравий и галька			Пески						Суглинки пластичные						Глины и суг- линки мягко-  пластичные		
	$v_0 = 0,10$			$v_0 = 0,20$			$v_0 = 0,25$			$v_0 = 0,30$			$v_0 = 0,35$			$v_0 = 0,40$		
	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{cons}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{const}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{const}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{const}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{const}$	$A\omega_0$	$A\omega_m$	$A\omega_{const}$
1,0	1,13	0,96	0,89	1,20	1,01	0,94	1,26	1,07	0,99	1,37	1,17	1,08	1,58	1,34	1,24	2,02	1,71	1,58
1,5	1,37	1,16	1,09	1,45	1,23	1,15	1,53	1,30	1,21	1,66	1,40	1,32	1,91	1,62	1,52	2,44	2,07	1,94
2,0	1,55	1,31	1,23	1,63	1,39	1,30	1,72	1,47	1,37	1,88	1,60	1,49	2,16	1,83	1,72	2,76	2,34	2,30
3,0	1,81	1,55	1,46	1,90	1,63	1,54	2,01	1,73	1,62	2,18	1,89	1,76	2,51	2,15	2,01	3,21	2,75	2,59
4,0	1,99	1,72	1,63	2,09	1,81	1,72	2,21	1,92	1,81	2,41	2,09	1,97	2,77	2,39	2,26	3,53	3,06	2,90
5,0	2,13	1,85	1,74	2,24	1,95	1,84	2,37	2,07	1,94	2,58	2,25	2,11	2,96	2,57	2,42	3,79	3,29	3,10
6,0	2,25	1,98	-	2,37	2,09	-	2,50	2,21	-	2,72	2,41	-	3,14	2,76	-	4,00	3,53	-
7,0	2,35	2,06	-	2,47	2,18	-	2,61	2,31	-	2,84	2,51	-	3,26	2,87	-	4,18	2,67	-
8,0	2,43	2,14	-	2,56	2,26	-	2,70	2,40	-	2,94	2,61	-	3,38	2,98	-	4,32	3,82	-
9,0	2,51	2,21	-	2,64	2,34	-	2,79	2,47	-	3,03	2,69	-	3,49	3,08	-	4,46	3,92	-
10 и >	2,58	2,27	2,15	2,71	2,40	2,26	2,86	2,54	2,38	3,12	2,77	2,60	3,58	3,17	2,98	4,58	4,05	3,82

